

EVALUASI PEREKAHAN HIDROLIK PADA SUMUR GAS BERTEKANAN TINGGI

Imam Kurniawan
Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi
Jurusan Teknik Perminyakan
Universitas Trisakti

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi perekahan hidrolik pada Sumur X, Sumur Y, dan Sumur Z untuk mengetahui kinerja sumur-sumur tersebut sebelum dan sesudah dilakukan perekahan hidrolik. Tujuan dari penulisan ini adalah untuk membandingkan evaluasi keberhasilan perekahan hidrolik pada ketiga sumur tersebut. Evaluasi yang dilakukan antara lain membandingkan harga faktor *skin* (S) sesudah dan sebelum dilakukan perekahan hidrolik, menghitung harga kenaikan kelipatan produksi (K2P) setelah dilakukan perekahan hidrolik, dan membandingkan permeabilitas (K) sesudah dan sebelum dilakukan perekahan hidrolik.

Pendahuluan

Stimulasi sumur dengan perekahan hidrolik ditujukan untuk memperbaiki reservoir yang disebabkan adanya kerusakan formasi terhadap adanya penurunan permeabilitas produksi suatu sumur. Penurunan permeabilitas terjadi sewaktu-waktu dengan adanya penurunan produksi di sekeliling lubang sumur. Perekahan hidrolik menciptakan penetrasi saluran atau *channel* peretakan yang memungkinkan memberikan laju fluida reservoir lebih baik dengan kapasitas laju alir yang besar sepanjang daerah pengurasan sampai ke lubang sumur.

Penulisan ini dibuat untuk mengevaluasi hasil dari perekahan hidrolik pada sumur produksi. Hasil yang diharapkan yaitu dapat mengetahui nilai produktivitas sumur setelah dilakukan stimulasi reservoir berupa *hydraulic fracturing* ini.

Kerusakan formasi di sekitar lubang sumur merupakan akibat dari operasi pemboran dan aktivitas produksi berupa zona *skin* di sekitar lubang sumur yang menyebabkan terhambatnya aliran fluida produksi dari formasi ke lubang sumur. Hal ini disebabkan harga k_{skin} lebih kecil daripada $k_{formasi}$ yang kita dapatkan dari hasil uji sumur (*Well Test*). Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan upaya stimulasi guna memperbesar harga permeabilitas di sekitar lubang sumur.

Teori Dasar

1. Hydraulic Fracturing

Hydraulic Fracturing adalah proses pembuatan rekahan di dalam formasi dimana rekahan tersebut dibuat supaya memiliki konduktivitas yang lebih baik dari sebelumnya, sehingga mampu mengurangi kehilangan tekanan pada aliran fluida dari reservoir ke lubang sumur, dan pada akhirnya produktivitas sumur tersebut akan meningkat. Pembuatan rekahan dilakukan dengan memompakan fluida dengan tekanan tinggi sampai melebihi stress pada batuan sehingga akan terbentuk rekahan di formasi tersebut. Jika pemompaan ini dihentikan, rekahan yang telah terbentuk akan tertutup kembali. Untuk mencegah rekahan ini menutup kembali maka digunakan material pengganjal untuk menjaga rekahan agar tidak tertutup. Dalam hal ini proppant digunakan sebagai material pengganjal. Dengan porositas dan permeabilitas yang dimiliki proppant, maka rekahan tersebut akan membentuk celah yang memiliki konduktivitas yang besar. Sehingga aliran fluida dari reservoir ke lubang sumur akan semakin mudah.

Terdapat empat variabel yang mempengaruhi produktivitas setelah dilakukan perekahan, yaitu :

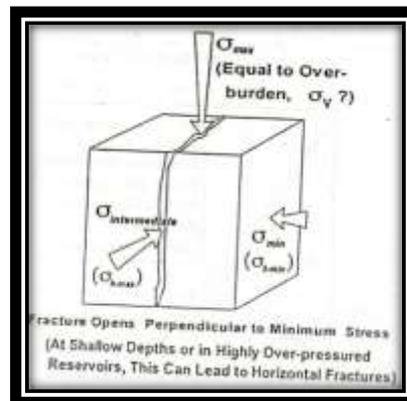
- Panjang rekahan, x_f – semakin panjang rekahan maka akan meningkatkan produktivitas.
- Konduktivitas rekahan, k_{fw} – untuk meningkatkan performa sumur, rekahan harus mampu untuk mengalirkan minyak, sehingga kapasitas aliran pada rekahan atau konduktivitas rekahan harus tinggi nilainya.
- Permeabilitas formasi, k – rekahan yang berkonduktivitas tinggi sangat menguntungkan formasi yang buruk (permeabilitas rendah). Permeabilitas mengatur reaksi dari formasi terhadap rekahan.
- Faktor lain – faktor-faktor ini menyangkut tentang jarak antar sumur dan pertimbangan azimuth rekahan.

Pada akhirnya hubungan antara performa sumur setelah perekahan, tinggi rekahan (x_f), konduktivitas rekahan (k_{fw}), dan permeabilitas formasi (k) dapat disimpulkan dalam satu variabel, F_{cd} , konduktivitas rekahan tidak berdimensi (*dimensionless fracture conductivity*).

$$F_{cd} = \frac{k_{fw}}{k_{xf}} \quad (3-1)$$

2. Rock stress

Rock stress atau *in situ stress* sangat mendominasi proses dari *hydraulic fracturing*. Tekanan menutupnya rekahan di pay zone menentukan tekanan injeksi yang dibutuhkan dan pemilihan proppant.



Gambar 2.1. Gaya yang Bekerja Pada Batuan

3. Desain Parameter

Terdapat enam variabel dalam sifat sifat batuan, *in situ stress*, sifat sifat fluida, dan treatment parameter yang mendominasi proses perekahan hidrolik, yaitu :

- Ketinggian (H_F , biasanya tergantung pada perbedaan antara *in situ stress* dengan lapisan formasi)
- Modulus (E , “kekerasan” pada batuan)
- *Fluid Loss* (berhubungan dengan permeabilitas formasi dan karakteristik *filter cake* dari fluida perekah)
- K_{IC} , *Apparent Fracture Toughness* (untuk menyebarkan rekahan berdasarkan tekanan yang dibutuhkan)
- Viskositas Fluida (μ , mempengaruhi *net pressure* dalam rekahan, *fluid loss*, dan transportasi proppant)
- Aliran pompa (Q , mempengaruhi hampir semua dalam proses perekahan hidrolik)

4. Model Rekahan

Model rekahan memprediksi geometri rekahan dan merupakan evolusi dari parameter parameter saat operasi dan *after closure*.

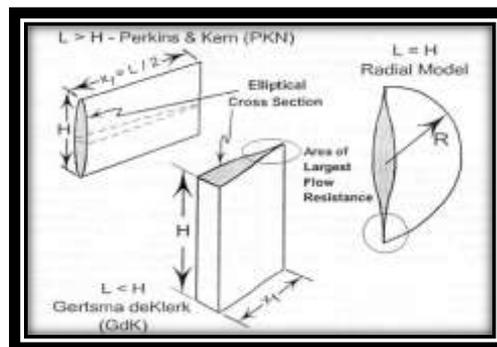
Terdapat dua model rekahan :

Two-dimensionals (2D)

Pseudo three-dimensionals (3D)

1. *Two-dimensionals* (2D)

2D model ada tiga tipe yaitu KGD, PKN, dan Radial.



Gambar 2.2. Model Rekahan

2. *Pseudo three-dimensionals* (3D)

Perbedaan mendasar dari model P3D/3D dengan model 2D adalah di model dua dimensi tinggi rekahan dan panjang rekahan dianggap sama, sedangkan di P3D panjang rekahan dan tinggi rekahan dapat berbeda nilainya.

P3D adalah perkembangan dari PKN. Model PKN mengasumsi tinggi rekahan sama dengan tebal reservoir, sementara pada model P3D, tinggi rekahan tidak harus sama dengan tebal reservoir, sehingga tinggi rekahan dapat berkembang secara vertikal ke arah lapisan terdekat dengan laju alir yang lebih kecil dibanding rekahan sebelumnya.

Model P3D/3D lebih realistis karena tinggi rekahan tidak ditentukan berdasarkan litologi tapi berdasarkan besaran dari variasi *stress* formasi, yang tidak selalu sama dengan litologi. *Stress* pada bumi bekerja dalam tiga arah, satu arah vertikal dan dua arah horizontal, maximum dan minimum. *Stress* vertikal diinduksikan berdasarkan *overburden* yang biasanya melebihi dua komponen horizontal.

5. Treatment Schedule

Fluida pendukung harus mampu mengantarkan proppant ke ujung rekahan. Secara umum, fluida yang mampu bertahan pada viskositas 40-50 cp (atau lebih besar) dapat dipertimbangkan sebagai fluida pendukung yang sempurna.

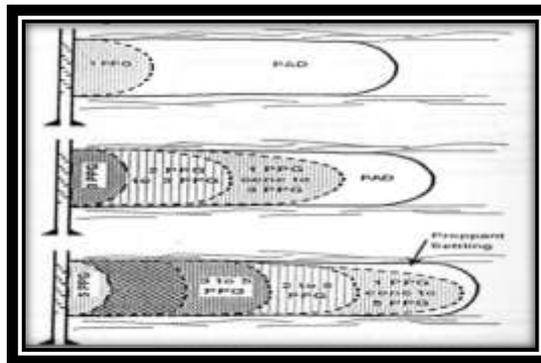
Dalam pengerjaannya, *pad stage* harus mampu membuka rekahan di sumur dan memperpanjang rekahan di depan tahap pengisian proppant. Tetapi, seiring dengan waktu aliran *fluid loss* menurun, dan *leak-off* tinggi pada ujung rekahan. Karena *fluid loss* yang lebih tinggi di ujung rekahan, maka pada ujung rekahan ini akan merambat lebih lama dari tahap pengisian proppant nantinya. Idealya, tahap tersebut akan menjadi akhir dari pengerjaan *fracturing*.

Untuk dapat menangani masalah di ujung rekahan, proppant akan mengalami pemadatan seiring dengan perjalanannya di panjang rekahan. Satu PPG dipompakan beberapa saat setelah pemompaan pad ke rekahan pada pertengahan akan naik konsentrasinya, mungkin menjadi empat PPG. Pada pertengahan pekerjaan, desain dari pengerjaan mungkin akan memompakan lima PPG. Di akhir pengerjaan, satu PPG di awal tadi yang telah berjalan melewati ujung rekahan akan mengalami dehidrasi, atau pemadatan sehingga konsentrasinya menjadi lebih besar, dapat mencapai delapan PPG. Lima PPG yang dipompakan pada pertengahan pekerjaan juga akan berada di rekahan. Tahap tersebut juga akan mengalami kenaikan konsentrasi, dan desain dari pengerjaan akan memompakan proppant terakhir dengan konsentrasi di atas lima PPG. Saat proppant lima PPG naik konsentrasinya menjadi delapan PPG, proppant delapan PPG terakhir dipompakan dengan tujuan untuk menutup ujung rekahan. Desain bertujuan untuk mengurangi kemungkinan adanya perbedaan densitas yang menyebabkan proppant dapat terpisah, dan mengurangi kemungkinan adanya perbedaan viskositas yang menyebabkan fingering pada tahap pemompaan proppant.

Pad yang digunakan pada proses ini harus memenuhi dua persyaratan, yaitu :

- Pad harus membuat rekahan yang cukup lebar agar proppant pertama dapat masuk ke dalam rekahan.
- Pad harus cukup besar untuk mampu membuat penetrasi rekahan yang diinginkan (panjang rekahan untuk tinggi rekahan tertentu, atau jari-jari rekahan)

Supaya proppant dapat masuk dalam rekahan, lebar rekahan harus dibuat dua atau dua setengah kali lebih besar dari diameter proppant. Pad pada pengerjaan ini menggunakan volume 30-50% dari total volume.



Gambar 2.3. Perfect Support Fluid

6. Evaluasi Hasil Perekahan Hidrolik

Evaluasi ini dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan atau sejauh mana keberhasilan maupun kegagalan dari pelaksanaan *hydraulic fracturing* terhadap produktivitas sumur. Parameter-parameter yang digunakan untuk mengevaluasi pekerjaan *hydraulic fracturing* adalah permeabilitas rata-rata rekahan (K_{avg}), perhitungan kenaikan kelipatan produktivitas ($K2P$) dan perubahan harga *skin* (S).

1 Berdasarkan Permeabilitas Formasi

Untuk memperkirakan kenaikan produksi suatu sumur adalah dengan melihat harga distribusi permeabilitas yang dihasilkan setelah perekahan. Asumsi yang digunakan menganggap bahwa stimulasi *hydraulic fracturing* yang dilakukan menyebabkan harga permeabilitas di sekitar lubang sumur berbeda dengan besarnya harga permeabilitas pada zona yang berada jauh dari lubang sumur. Besarnya harga permeabilitas setelah rekahan (K_{ef}) dan harga distribusi permeabilitas rata-rata (K_{avg}) dapat dihitung dengan persamaan Howard & Fast berikut :

$$k_{ef} = \frac{(K_i \times h) + WK_f}{h} \quad (3-4)$$

$$k_{avg} = \frac{\text{Log}\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}{\left(\frac{1}{k_{ef}}\right)\text{Log}\left(\frac{x_f}{r_w}\right) + \left(\frac{1}{k_i}\right)\text{Log}\left(\frac{r_e}{x_f}\right)} \quad (3-5)$$

Keterangan :

k_{ef} = permeabilitas formasi setelah perekahan, mD

k_i = permeabilitas formasi, mD

h = ketebalan lapisan produktif, ft

WK_f = konduktifitas rekahan, mD-ft

k_{avg} = permeabilitas formasi rata-rata, mD

r_e = radius pengurasan, ft

r_w = jari-jari sumur, ft

X_f = panjang rekahan, ft

2 Berdasarkan *Productivity Index* (PI)

Productivity index adalah indeks yang menyatakan kemampuan dari suatu sumur untuk dapat berproduksi pada suatu kondisi tekanan tertentu. Secara teoritis, dengan dilakukannya *hydraulic fracturing* pada suatu formasi, maka kemampuan formasi untuk berproduksi/mensuplai fluida ke dalam lubang sumur akan meningkat, dengan demikian harga indeks produktivitasnya akan meningkat pula.

- Metode Cinco-Ley, Samaniego dan Dominiquez

Metode ini adalah metode umum yang dipakai dalam penentuan konduktivitas rekahan (*fracture conductivity*) serta untuk evaluasi dengan cepat mengenai beberapa perkiraan kelipata kenaikan produktivitas (K2P) pada perekahan hidrolik. Asumsi yang digunakan adalah :

- Area pengurasa silindris
- Kompleksi sumur *cased hole*
- Memperhitungkan permeabilitas dan konduktivitas serta panjang rekahan
- Aliran fluida *steady state*

Dengan terbentuknya rekahan di dalam formasi yang terisi oleh *proppant*, maka akan terbentuk media aliran fluida baru di formasi. Besar kecilnya kemampuan aliran fluida di dalam rekahan atau yang disebut sebagai konduktivitas rekahan (*fracture conductivity*), tergantung dari harga permeabilitas dan lebar rekahan yang terbentuk.

Jari-jari sumur efektif, r_w' akan digunakan dalam evaluasi di sini. Semakin besar jari-jari sumur maka semakin besar pula produktivitas sumur tersebut. Cinco-Ley cs membuat grafik seperti ditunjukkan pada gambar 3.6. Untuk itu didefinisikan konduktivitas rekahan tanpa dimensi (*dimensionless fracture conductivity*), F_{cd} adalah sebagai berikut :

$$F_{cd} = \frac{W \times k_f}{K \times x_f} \quad (3-6)$$

Keterangan :

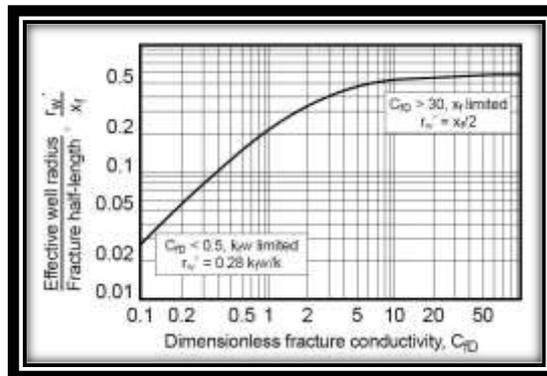
W = lebar rekahan setelah menutup, ft

K_f = permeabilitas rekahan (*proppant*), mD

K = permeabilitas formasi, mD

X_f = panjang rekahan, ft

Persamaan (3-6) menunjukkan bahwa harga F_{cd} berbanding lurus dengan harga konduktivitas rekahan, sehingga harga konduktivitas rekahan sangat menentukan keberhasilan dari pelaksanaan perekahan. Untuk harga $F_{cd} > 30$, $r_w' = 0.5 X_f$ dan rekahan akan berlaku seakan-akan tak berhingga, serta dengan ini tak perlu menaikkan konduktivitas *proppant*-nya dengan misalnya *proppant* yang lebih kuat. Tetapi bila $F_{cd} < 0.5$, $r_w' = 0.28 WK_f/K_f$, dan panjang rekahan tidak menjadi masalah.



Gambar 2.4. Grafik Hubungan antara r_w' dan F_{cd}

Grafik pada Gambar 3.6 digunakan untuk mengevaluasi tingkat keberhasilan perekahan berdasarkan harga *skin* semu (*pseudo skin*), yang ditunjukkan dalam persamaan sebagai berikut :

$$S = -\ln \left\{ \frac{r_w'}{r_w} \right\} \quad (3-7)$$

Sedangkan kenaikan kelipatan produktivitas (K2P) dapat dinyatakan :

$$K2P = \frac{J}{J_0} = \frac{\ln \left[\frac{r_e}{r_w} \right]}{\ln \left[\frac{r_e}{r_w'} \right]} \quad (3-8)$$

Analisa Data

1 Analisa Keberhasilan Perekahan Hidrolik Pada Sumur X

Pekerjaan perekahan hidrolik pada sumur X ini menghasilkan panjang rekahan 267 ft, lebar rata-rata rekahan 0.233 inch dengan konduktivitas rekahan rata-rata baru sebesar 3945 mD-ft.

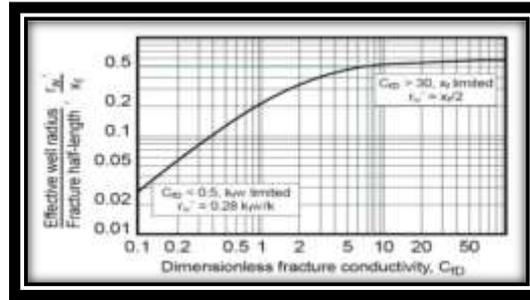
a. Faktor *Skin*

Harga faktor *skin* (kerusakan formasi) merupakan permasalahan yang utama dihadapi pada saat melakukan stimulasi, khususnya pada *hydraulic fracturing*.

Data Sumur X

- $F_{cd} = 7.3$
- $X_f = 267.46$ ft
- $r_w = 0.35$ ft

Dengan menggunakan data F_{cd} , maka data r_w'/x_f dapat dicari dengan menggunakan kurva hubungan antara r_w'/x_f dan F_{cd}



Gambar 3.1. Kurva Hubungan Antara r_w'/x_f dan F_{cd} Sumur X

Dengan kurva hubungan antara r_w'/x_f dan F_{cd} , maka harga r_w'/x_f dapat dicari, yaitu 0.51.

$$R_w'/x_f = 0.51, \text{ maka } r_w' = 267.46 \times 0.51 = 136.4046$$

Dengan perhitungan di atas, maka harga skin dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$S = -\ln \left\{ \frac{r_w'}{r_w} \right\} \\ = -5.96545$$

Dengan adanya data tersebut maka laju alir pada saat setelah perekahan dapat dihitung.

$$r_w'' = r_w e^{-S} \\ = 0.35 e^{-9.51} \\ = 2.59375 \text{ E-05}$$

Apabila skin = 0, $r_w'' = r_w$ maka k2p yaitu :

$$k2p = \frac{\ln \left(\frac{r_e}{r_w} \right)}{\ln \left(\frac{r_e}{r_w''} \right)} \\ = \frac{\ln \left(\frac{685}{0.35} \right)}{\ln \left(\frac{685}{2.59375 \text{ E-05}} \right)} \\ = 0.443509515$$

Rate awal 1.6 MMSCFD, maka rate pada saat $S=0$ yaitu :

$$1.6 = q_{s=0} \times 0.443509515 \\ q_{s=0} = \frac{1.6}{0.443509515} = 3.6 \text{ MMSCFD}$$

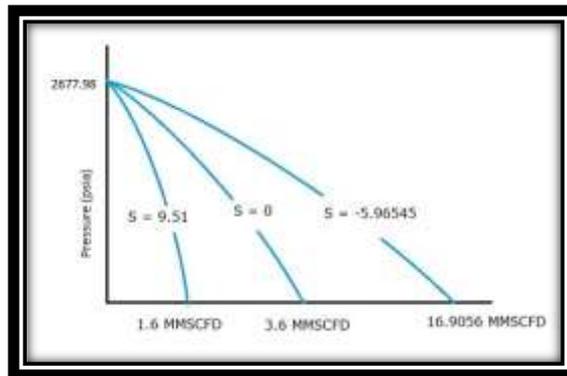
Setelah frac, skin = -5.96545

$$r_w'' = r_w e^{-S} \\ = 0.35 e^{5.96545} \\ = 136.4049282$$

$$k2p = \frac{\ln \left(\frac{r_e}{r_w} \right)}{\ln \left(\frac{r_e}{r_w''} \right)} \\ = 4.696$$

Rate pada skin = 0 sebesar 3.6 MMSCFD, maka rate pada skin = -5.96545 yaitu

$$Q_{\text{after frac}} = 3.6 \times 4.696 = 16.9056 \text{ MMSCFD}$$



Gambar 3.2. Analisa Laju Alir Sumur X

Peningkatan Permeabilitas Rata-rata (K_{avg})

Perhitungan :

$$k_{\text{ef}} = \frac{(k_i x h) + w_{kf}}{h}$$

$$= 81.068 \text{ mD}$$

$$k_{\text{avg}} = \frac{\text{Log}\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}{\left(\frac{1}{k_{\text{ef}}}\right)\text{Log}\left(\frac{x_f}{r_w}\right) + \left(\frac{1}{k_i}\right)\text{Log}\left(\frac{r_e}{x_f}\right)}$$

$$K_{\text{avg}} = \frac{\text{Log}\left(\frac{685}{0.35}\right)}{\left(\frac{1}{81.068}\right)\text{Log}\left(\frac{267.46}{0.35}\right) + \left(\frac{1}{2.15}\right)\text{Log}\left(\frac{685}{267.46}\right)} = 15.05 \text{ mD}$$

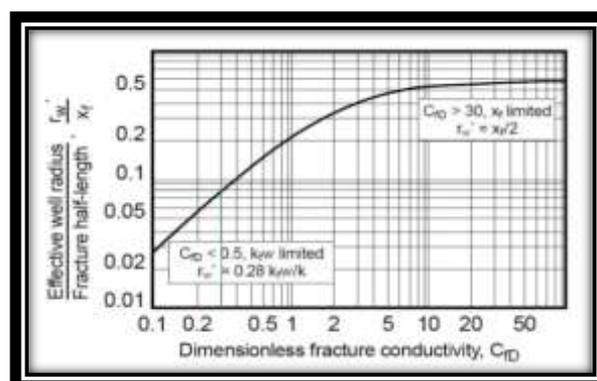
2 Analisa Keberhasilan Perekahan Hidrolik Pada Sumur Y

Pekerjaan perekahan hidrolik pada sumur Y ini menghasilkan panjang rekahan 769 ft, lebar rata-rata rekahan 0.119 inch dengan konduktivitas rekahan rata-rata baru sebesar 1027 mD-ft.

Faktor *Skin*

Harga faktor *skin* (kerusakan formasi) merupakan permasalahan yang utama dihadapi pada saat melakukan stimulasi, khususnya pada *hydraulic fracturing*.

Dengan menggunakan data F_{cd} , maka data r_w/x_f dapat dicari dengan menggunakan kurva hubungan antara r_w/x_f dan F_{cd} .

Gambar 3.3. Kurva Hubungan Antara r_w/x_f dan F_{cd} Sumur Y

Dengan kurva hubungan antara r_w/x_f dan F_{cd} , maka harga r_w/x_f dapat dicari, yaitu 0.51.

$r_w/x_f = 0.08$, maka $r_w = 769.1 \times 0.08 = 61.528$

Dengan perhitungan di atas, maka harga skin dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$S = -\ln \left\{ \frac{r_w'}{r_w} \right\}$$

$$= -5.16931$$

Dengan adanya data tersebut maka laju alir pada saat setelah perekahan dapat dihitung.

$$r_w'' = r_w e^{-s}$$

$$= 0.35 e^{-13}$$

$$= 7.9115 \text{ E-07}$$

Apabila skin = 0, $r_w'' = r_w$ maka k2p yaitu :

$$k2p = \frac{\ln \left(\frac{r_e}{r_w} \right)}{\ln \left(\frac{r_e}{r_w''} \right)}$$

$$= 0.367$$

Rate awal 2.2 MMSCFD, maka rate pada saat $S=0$ yaitu :

$$2.2 = q_{s=0} \times 0.367$$

$$q_{s=0} = \frac{2.2}{0.367} = 5.99455 \text{ MMSCFD}$$

Setelah frac, skin = -5.16931

$$r_w'' = r_w e^{-s}$$

$$= 0.35 e^{5.16931}$$

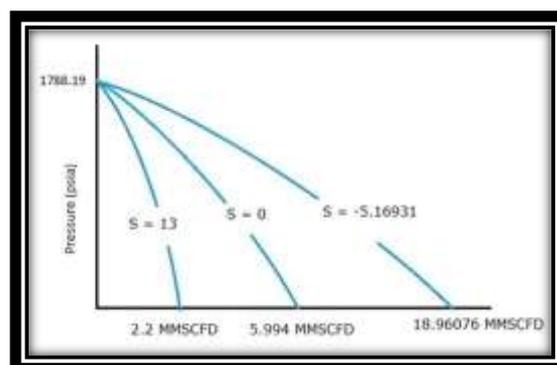
$$= 61.528$$

$$k2p = \frac{\ln \left(\frac{r_e}{r_w} \right)}{\ln \left(\frac{r_e}{r_w''} \right)}$$

$$= 3.163$$

Rate pada skin = 0 sebesar 5.99455 MMSCFD, maka rate pada skin = -5.16931 yaitu

$$q_{\text{after frac}} = 5.99455 \times 3.163 = 18.96076 \text{ MMSCFD}$$



Gambar 3.2. Analisa Laju Alir Sumur Y

Peningkatan Permeabilitas Rata-rata (K_{avg})

Perhitungan :

$$K_{ef} = \frac{(K_i \times h) + Wk_f}{h}$$

$$= 27.82222 \text{ mD}$$

$$K_{avg} = \frac{\text{Log}\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}{\left(\frac{1}{K_{ef}}\right)\text{Log}\left(\frac{x_f}{r_w}\right) + \left(\frac{1}{K_i}\right)\text{Log}\left(\frac{r_e}{x_f}\right)}$$

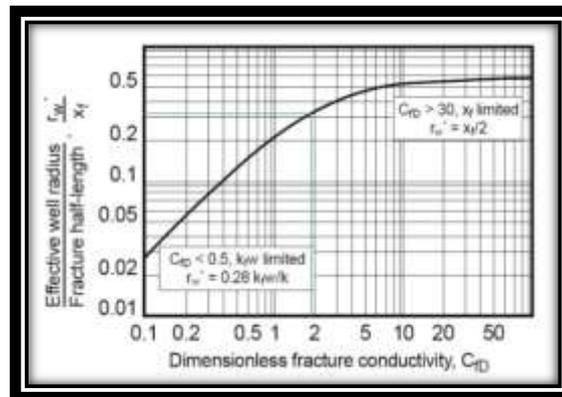
$$K_{avg} = \frac{\text{Log}\left(\frac{671}{0.35}\right)}{\left(\frac{1}{27.82222}\right)\text{Log}\left(\frac{769.1}{0.35}\right) + \left(\frac{1}{5}\right)\text{Log}\left(\frac{671}{769.1}\right)} = 27.42613 \text{ mD}$$

3 Analisa Keberhasilan Perekahan Hidrolik Pada Sumur Z

Pekerjaan perekahan hidrolik pada sumur Z ini menghasilkan panjang rekahan 613 ft, lebar rata-rata rekahan 0.090 inch dengan konduktivitas rekahan rata-rata baru sebesar 2011 mD-ft.

Faktor *Skin*

Dengan menggunakan data F_{cd} , maka data r_w/x_f dapat dicari dengan menggunakan kurva hubungan antara r_w/x_f dan F_{cd} .



Gambar 3.5. Kurva Hubungan Antara r_w'/x_f dan F_{cd} Sumur Z

Dengan kurva hubungan antara r_w'/x_f dan F_{cd} , maka harga r_w'/x_f dapat dicari, yaitu 0.32.

$$r_w'/x_f = 0.32, \text{ maka } r_w' = 613.6 \times 0.32 = 196.352$$

Dengan perhitungan di atas, maka harga skin dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} S &= -\ln\left\{\frac{r_w'}{r_w}\right\} \\ &= -\ln\left\{\frac{196.352}{0.35}\right\} \\ &= -6.43973 \end{aligned}$$

Dengan adanya data tersebut maka laju alir pada saat setelah perekahan dapat dihitung.

$$\begin{aligned} r_w'' &= r_w e^{-S} \\ &= 0.35 e^{-6.43} \\ &= 0.000564 \end{aligned}$$

Apabila skin = 0, $r_w'' = r_w$ maka $k2p$ yaitu :

$$k2p = \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}{\ln\left(\frac{r_e}{r_{w''}}\right)}$$

$$= 0.540777$$

Rate awal 1.3 MMSCFD, maka rate pada saat $S=0$ yaitu :

$$1.3 = q_{s=0} \times 0.540777$$

$$Q_{s=0} = \frac{1.3}{0.540777} = 2.403948 \text{ MMSCFD}$$

Setelah frac, skin = -6.43973

$$r_w'' = r_w e^{-s}$$

$$= 0.35 e^{6.43973}$$

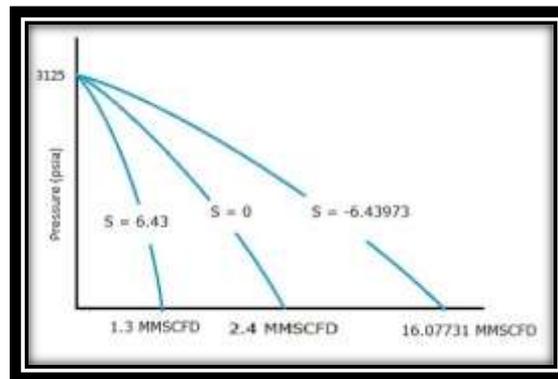
$$= 219.1832$$

$$k2p = \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}{\ln\left(\frac{r_e}{r_{w''}}\right)}$$

$$= 6.68$$

Rate pada skin = 0 sebesar 2.403948 MMSCFD, maka rate pada skin = -6.43973 yaitu

$$q_{\text{after frac}} = 2.403948 \times 6.68 = 16.07731 \text{ MMSCFD}$$



Gambar 3.6. Analisa Laju Alir Sumur Z

Peningkatan Permeabilitas Rata-rata (K_{avg})

Perhitungan :

$$K_{\text{ef}} = \frac{(K_i \times h) + Wk_f}{h}$$

$$K_{\text{ef}} = \frac{(1.75 \times 45) + 2011}{45} = 46.43889 \text{ mD}$$

$$K_{\text{avg}} = \frac{\text{Log}\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}{\left(\frac{1}{K_{\text{ef}}}\right)\text{Log}\left(\frac{x_f}{r_w}\right) + \left(\frac{1}{K_i}\right)\text{Log}\left(\frac{r_e}{x_f}\right)}$$

$$K_{\text{avg}} = \frac{\text{Log}\left(\frac{680}{0.35}\right)}{\left(\frac{1}{46.43889}\right)\text{Log}\left(\frac{613.6}{0.35}\right) + \left(\frac{1}{5}\right)\text{Log}\left(\frac{680}{613.6}\right)} = 41.74418 \text{ mD}$$

Pembahasan

Hydraulic Fracturing adalah jenis stimulasi untuk merekahkan formasi pada *reservoir* batuan dengan cara memompakan *pad* di atas gradien rekah formasi dengan rekah yang kita inginkan, kemudian digunakan *proppant* sebagai material pengganjal agar formasi tidak menutup kembali. Disamping bertujuan sebagai pengganjal, *proppant* sekaligus menggantikan permeabilitas batuan disekitar lubang sumur sehingga konduktivitas akan meningkat secara signifikan. Dengan ukuran yang seragam, *proppant* akan membentuk permeabilitas dan porositas yang besar sepanjang radius peretakan sehingga membuat jalan yang lebar agar fluida dapat keluar dengan baik sehingga produksi suatu sumur dapat ditingkatkan. Dengan dilakukan *hydraulic fracturing* diharapkan laju produksi sumur tersebut dapat ditingkatkan. Dari uraian diatas, maka selanjutnya adalah bagaimana kita dapat merencanakan peretakan yang optimal, karena keberhasilan peretakan formasi tergantung dari beberapa faktor seperti tekanan injeksi, pemilihan fluida peretakan dan pemilihan *proppant*.

Setelah *hydraulic fracturing*, kemudian dilakukan analisa hasil keberhasilan dari pengerjaan yang telah dilakukan. Analisa yang akan dilakukan yaitu penurunan harga *skin*, kenaikan kelipatan produksi (K2P), dan peningkatan permeabilitas setelah dilakukan *hydraulic fracturing*.

Pada penurunan harga *skin* digunakan metode Cinco-Ley, Samaniego dan Dominiquez. Dengan *fracture conductivity* sumur X, Y, Z berturut-turut 7.3, 0.3, 1.9 penurunan harga *skin* dan kenaikan kelipatan produksi (K2P) dapat dicari. Pada sumur X harga *skin* sebelum dilakukan *hydraulic fracturing* yaitu +9.51 dan setelah dilakukan *hydraulic fracturing* harga *skin* turun menjadi -5.96545 dengan laju alir 16.9056 MMSCFD. Pada sumur Y harga *skin* sebelum dilakukan *hydraulic fracturing* yaitu +13 dan setelah dilakukan *hydraulic fracturing* harga *skin* turun menjadi -5.16931 dengan laju alir 18.96076 MMSCFD. Pada sumur Z harga *skin* sebelum dilakukan *hydraulic fracturing* yaitu +6.43 dan setelah dilakukan *hydraulic fracturing* harga *skin* turun menjadi -6.43973 dengan laju alir 16.07731 MMSCFD

Pada peningkatan permeabilitas digunakan persamaan Howard & Fast. Analisa ini dilakukan dengan membandingkan permeabilitas sebelum dan sesudah dilakukan *hydraulic fracturing*. Pada sumur X, permeabilitas awal yaitu sebesar 2.15 mD, setelah dilakukan *hydraulic fracturing*, permeabilitasnya meningkat menjadi 15.05 mD. Pada sumur Y, permeabilitas awal yaitu sebesar 5 mD, setelah dilakukan *hydraulic fracturing*, permeabilitasnya meningkat menjadi 27.42 mD. Pada sumur Z, permeabilitas awal yaitu sebesar 1.75, setelah dilakukan *hydraulic fracturing*, permeabilitasnya meningkat menjadi 41.74418 mD.

Kesimpulan

- 1 Pada penulisan penelitian ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :
- 2 Sumur X, Y, dan Z termasuk dalam sumur kandidat *hydraulic fracturing*, setelah dilakukan analisa PBU dan data geomekanik. Hasil analisa sumur X yaitu : $P = 2678$ psia, $k = 2.15$ mD, $r_e = 685$ ft, faktor skin +9.51 dan $h = 50$ ft. Hasil analisa Sumur Y yaitu : $P = 1778.9$ psia, $k = 5$ mD, $r_e = 671$ ft, faktor skin +13, dan $h = 45$ ft. Hasil analisa sumur Z yaitu : $P = 3125$ psia, $k = 1.75$ mD, $r_e = 680$ ft dan $h = 42.4$ ft.
- 3 Sumur X berhasil membuat rekahan sejauh 267 ft, lebar rata-rata 0.233 inch dengan konduktivitas rekahan rata-rata sebesar 3945 mD-ft.
- 4 Sumur Y berhasil membuat rekahan sejauh 769 ft, lebar rata-rata 0.119 inch dengan konduktivitas rekahan rata-rata sebesar 1027 mD-ft.
- 5 Sumur Z berhasil membuat rekahan sejauh 613 ft, lebar rata-rata 0.090 inch dengan konduktivitas rekahan sebesar 2011 mD-ft.

- 6 Berdasarkan metode Cinco-ley, Samaniego dan Dominiquez, faktor skin sumur X turun hingga -5.9645 dari +9.51. Laju alirnya naik dari 1.6 MMSCFD menjadi 16.9056 MMSCFD. Berdasarkan metode Howard & Fast, permeabilitas sumur X meningkat dari 2.15 menjadi 15.05 mD.
- 7 Berdasarkan metode Cinco-ley, Samaniego dan Dominiquez, faktor skin sumur Y turun hingga -5.16931 dari +13. Laju alirnya naik dari 2.2 MMSCFD menjadi 18.96076 MMSCFD. Berdasarkan metode Howard & Fast, permeabilitas sumur Y meningkat dari 5 mD menjadi 27.42 mD.
- 8 Berdasarkan metode Cinco-ley, Samaniego dan Dominiquez, faktor skin sumur Y turun hingga -6.43973 dari +6.43. Laju alirnya naik dari 1.3 MMSCFD menjadi 16.07731 MMSCFD. Berdasarkan metode Howard & Fast, permeabilitas sumur Y meningkat dari 1.75 mD menjadi 46.43889 mD.
- 9 Analisa Nodal Pada sumur X tidak dapat diterima karena laju alir yang diperkirakan setelah perekahan sebesar 3.8 MMSCFD dengan skin yang masih bernilai positif

Daftar Pustaka

Brown, Kermit, E, "The Technology Of Artificial Lift Methods", Volume 4, Penn Well Books, Penn Well Publishing Company, Tulsa, Oklahoma.

Economides, M. J., et all, "Reservoir Stimulation", 2007.

Lee, John, "Well Testing", Society of Petroleum Engineering of AIME, New York, Dallas, 1982.

NSI, "Hydraulic Fracturing", Volume 3, Technologies Inc, 1997.

Schechter, Robert S., "Oil Well Stimulation", New Jersey, 1992.

Valko, Peter. Economides, M. J, "Hydraulic Fracture Mechanics", John Wiley and Sons, 1995.

Teknik Produksi, "Perencanaan Stimulasi", Pertamina EP, 2003.